Innovation Management and Operational Strategies

http://www.journal-imos.ir

Innovation Management and Operational Strategies, Volume 1, Issue 4, Page: 320-346

Paper Type: Original Article

Ranking of Executive Actions of Technology Roadmap with the Emphasis on Resources and Technology Acquisition (A Case Study of Two International Roadmaps)

Kiarash Fartash[1] Mostafa Mohseni Kiasari*[2]

[1] Methodology of Science and Technology Department, Institute for Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

[2]Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Mazandran, Iran.

Citation:

Mohseni Kiasari, M., & Fartash, K. (2021). Ranking of executive actions of technology roadmap with the emphasis on resources and technology acquisition (a case study of two international roadmaps). *Innovation management and operational strategies, 1*(4), 320-346.

Received: 11/10/2020	Reviewed: 30/11/2020	Revised: 19/12/2020	Accept: 09/01/2021

Abstract

Purpose: The main objective of this paper is to rank the executive actions of the technology roadmaps with emphasis on resources and technology acquisition.
Methodology: In order to achieve this goal, firstly, literature on the role of technology, including approaches, frameworks of roadmap drawing, technology uses, and a number of technology maps that are mostly up-to-date, were reviewed. In the next step, to rank the executive actions, two technology roadmaps published by the International Energy Agency were selected. These two roadmaps are produced in 2011, with the horizon of 2050. These two roadmaps were studied and the infrastructure needed to achieve their goals was extracted. Eventually, the battery was selected as the main challenge in the resource layer and technology acquisition for ranking.
Findings: By this way, five batteries from the family of ion-lithium batteries (with six technical characteristics) were ranked by TOPSIS and PROMETHEE and for the sake of clarity, the six common electric cars on the world market have been compared and ranked.
Originality/Value: The results of this research can be used to increase global competitiveness, used by domestic car manufacturers, as well as a guideline to determine the priorities of the executive actions need to be undertaken by Iranian firms.

Keywords: Technology planning, Executive activities ranking, Technology roadmap.

JEL Classificaton: O21, O32, C81.

* Corresponding Author
Email Address: mo.mohseni@umz.ac.ir

10.22105/imos.2020.262855.1019

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی

www.journal-imos.ir

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶

نوع مقاله: پژوهشی

رتبه‌بندی اقدامات اجرایی نقشه راه فناوری با تأکید بر منابع و اکتساب فناوری: (مطالعه موردی دو نقشه راه جهانی خودروهای الکتریکی و هایبرید الکتریکی و شبکه‌های هوشمند)

کیارش فرتاش[۱]، مصطفی محسنی کیاسری[۲،*]

[۱]گروه روش‌شناسی علم و فناوری، پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

[۲]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۰	بررسی: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰	اصلاح: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹	پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

چکیده

هدف: هدف اصلی این مقاله، رتبه‌بندی اقدامات اجرایی نقشه راه فناوری با تأکید بر منابع و اکتساب فناوری می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: به‌منظور تحقق این هدف، ابتدا ادبیات موجود درزمینه‌ی نقشه راه فناوری اعم از رویکردها، چارچوب‌های ترسیم، کاربردهای نقشه راه فناوری و تعدادی از نقشه‌های راه فناوری ترسیم‌شده که عمدتاً به‌روز می‌باشند، مرور شدند. در مرحله بعد، برای رتبه‌بندی اقدامات اجرایی، دو نقشه راه فناوری آژانس بین‌المللی انرژی انتخاب شدند. این دو نقشه راه در سال ۲۰۱۱ و با افق سال ۲۰۵۰ تهیه و تدوین‌شده‌اند. دو نقشه راه مذکور، موردمطالعه قرار گرفتند و زیرساخت‌های موردنیاز برای تحقق اهداف آن‌ها استخراج گردید. درنهایت باتری به‌عنوان اصلی‌ترین چالش در لایه‌ی منابع و اکتساب فناوری برای رتبه‌بندی انتخاب شد. بدین منظور پنج باتری از خانواده باتری‌های یون لیتیم (با شش مشخصه‌ی فنی) با دو روش TOPSIS و PROMETHEE مورد رتبه‌بندی قرار گرفت.

یافته‌ها: با استفاده از چارچوب رتبه‌بندی شش خودروی الکتریکی موجود در بازارهای جهانی مورد مقایسه و رتبه‌بندی قرار گرفتند. در پایان هم نقشه راه خودروهای الکتریکی و نقشه راه شبکه‌های هوشمند برای یافتن زیرساخت‌های مشترک موردبررسی قرارگرفته و نقاط اشتراک دو نقشه راه تحت عنوان نقشه راه فناوری چند صنعتی توصیف شد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: نتایج این تحقیق، می‌تواند برای افزایش رقابت‌پذیری جهانی، مورداستفاده خودروسازان داخلی قرار گیرد و نیز به‌عنوان الگویی راهنما، به‌منظور تعیین اولویت‌های اجرایی توسط بنگاه‌های تولیدی ایرانی به کار گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی فناوری، رتبه‌بندی اقدامات اجرایی، نقشه راه فناوری.

طبقه‌بندی JEL: O21,O32,C81.

* **نویسنده مسئول**

آدرس رایانامه: mo.mohseni@umz.ac.ir

شناسه دیجیتال:10.22105/imos.2020.262855.1019

۱ـ مقدمه

نقشه‌راه فناوری به طور گسترده‌ای به عنوان یک روش پشتیبانی مدیریت استراتژیک فناوری به کار می‌رود. نقشه‌راه فناوری یک ابزار گرافیکی برای اکتشاف و ارتباط بین بازارها، محصولات و فناوری‌ها در یک بازه زمانی مشخص به کار می‌رود. نقشه‌راه فناوری نقش یک رابط بین استراتژی کسب‌وکار و توسعه مشخصه‌های محصولات را ایفا می‌نماید (آلبرایت و کاپل[۱]، ۲۰۰۳). به وجود آوردن تعادل بین دو عامل فشارفناوری و کشش‌بازار به منظور این که، نقشه‌راه دو منظر تجاری و فناورانهی را همزمان شامل شود، یکی از مباحث بسیار مهم در ترسیم نقشه‌راه فناوری است. هدف اصلی نقشه‌راه فناوری فراهم کردن زمینه مدیریت استراتژیک فناوری به عنوان یک ابزار مدیریتی برای برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و مدیریت در یک محیط کسب و کار پویا است (لی و پارک[۲]، ۲۰۰۵).

از نظر سیر تاریخی اولین استفاده از ابزار نقشه‌راه فناوری در در صنعت خودروسازی آمریکا، در اوایل دهه ۷۰ میلادی و به دلیل بروز بحران نفتی در جهان صورت گرفت (پرابِرت و راندرِ[۳]، ۲۰۰۳). با رویکرد سیستماتیک موتورولا و کورنینگ، در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ میلادی، استفاده از نقشه‌راه فناوری گسترش یافت. رویکرد نقشه‌راه فناوری موتورولا به طور مشخص به پیشرو شدن موتورولا در حوزه الکترونیک کمک قابل توجهی نمود. شرکت‌های دیگری هم‌چون فیلیپس (گِرونوِلد[۴]، ۱۹۹۷) و لیوسِنت تکنولوژی (آلبرایت و کاپل، ۲۰۰۳) نیز از این ابزار نوظهور غافل نبودند و آن‌ها هم از از نقشه‌راه فناوری برای پیشتازی در کسب و کار خود بهره بردند.

با توجه به مطالب گفته شده در مورد اهمیت و فواید نقشه‌راه فناوری در سطح بنگاه و صنعت، ضرورت برخورداری از یک برنامه‌ریزی فناوری مناسب که نقشه‌راه فناوری یکی از ابزارهای بسیار کارآمد در این حوزه است، اجتناب ناپذیر است.

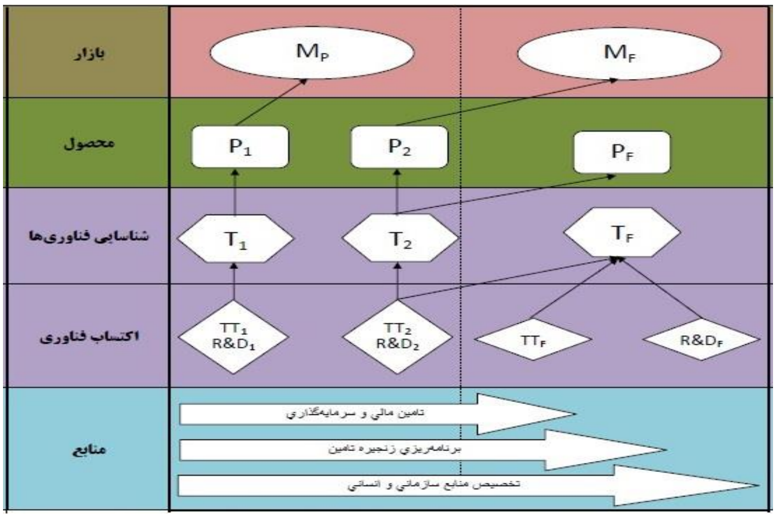
این مقاله با در نظرگرفتن چالش‌های ترسیم نقشه‌راه فناوری، در نظر دارد چارچوبی را پیشنهاد نماید، که در آن اولاً به دنبال چارچوبی برای رتبه‌بندی اقدامات اجرایی نقشه‌راه با تاکید بر منابع و اکتساب منابع است. دوماً با ارائه ساز و کاری سعی در حذف کردن هزینه‌های اضافه و گاهاً تکراری در فرآیند تدوین و ترسیم نقشه‌راه فناوری نماید، و با این هدف که بتوان با کم کردن هزینه‌های اجرایی، انگیزه‌ی لازم برای استفاده هر چه بیشتر از این ابزار کارآمد را، فراهم نمود. در شکل ۱، لایه‌های عمومی و لازم برای ترسیم نقشه‌راه فناوری بیان شده است. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، منابع و اکتساب فناوری لایه‌های توانمندساز هستند و در صورت برآورده شدن آن‌ها، فرآیند ترسیم نقشه‌راه فناوری، نتایج مورد انتظار ما برآورده خواهد کرد.

تا کنون به درستی به بررسی اولویت‌بندی اقدامات اجرایی نقشه‌راه فناوری پرداخته نشده است. در این تحقیق به دنبال برطرف کردن این شکاف در ادبیات هستیم، لذا با بررسی دو نقشه‌راه فناوری جهانی، سازمان جهانی انرژی[۵] و استخراج چالش‌های اصلی نقشه‌راه به عنوان عوامل اصلی تحقق نقشه‌راه مشخص شده و با معیارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه نسبت به رتبه‌بندی برنامه‌های اجرایی از طریق روش پرامتی[۶] و تاپسیس انجام خواهد شد.

---

[1] Albright & Kappel
[2] Lee & Park
[3] Probert et al.
[4] Groenveld
[5] International Energy Agency
[6] Promethee

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶



شکل ۱- مراحل اقدامات عملیاتی تهیه نقشه راه (پروژه تدوین سند توسعه و ره‌نگاشت بخش هوافضای کشور، ۱۳۸۹).

Figure 1- Steps of operational measures to prepare a roadmap (project to develop a document and guide the aerospace sector of the country, 2010).

۲ـ مبانی نظری تحقیق

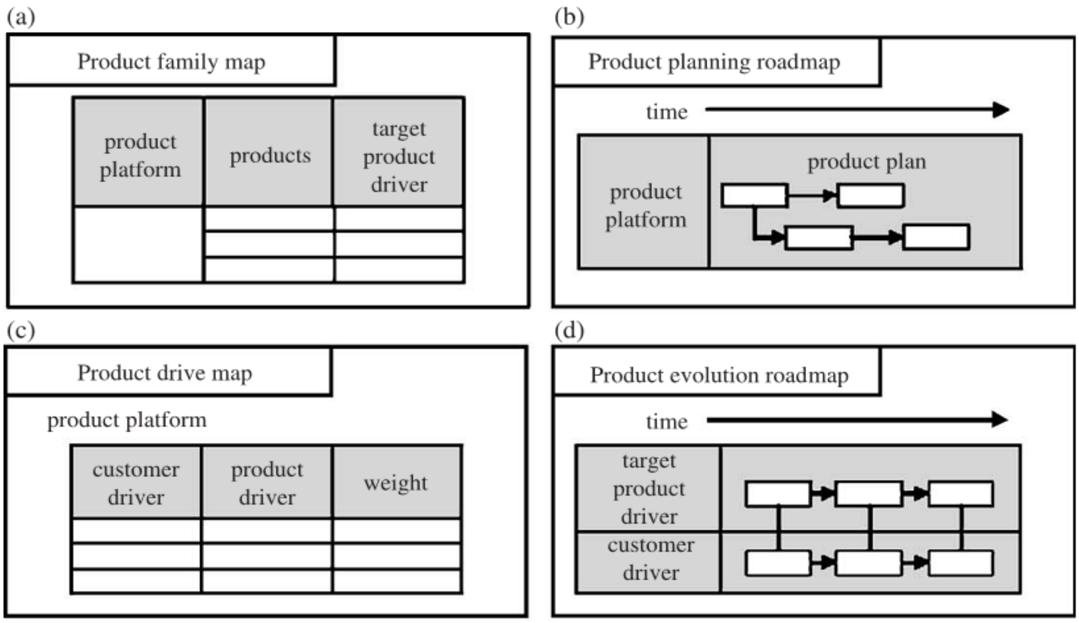
همانطور که در بخش‌های قبل ارائه شد، هدف اصلی نقشه‌راه فناوری فراهم کردن زمینه مدیریت استراتژیک فناوری به عنوان یک ابزار مدیریتی برای برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و مدیریت در یک محیط کسب و کار پویا است (آلبرایت و کاپل، ۲۰۰۳). فال و همکاران[۱] (۲۰۰۵) هشت هدف اصلی برای ترسیم نقشه‌راه پیشنهاد کردند که عبارتست از: برنامه‌ریزی محصول (گرین‌وِلد، ۱۹۹۷)، قابلیت‌ها (براون[۲] و فال، ۲۰۰۱)، استراتژيك (ماری و همکاران[۳]، ۱۹۹۷)، بلندمدت، سرمایه دانش، فرآیند، یکپارچه (کاجی‌کاوا[۴]، ۲۰۰۸) و طرح‌ریزی برنامه (بووِر و کریستنسِن[۵]، ۱۹۹۵). همانطور که در توضیحات بخش‌های قبل بیان شد، ابزار نقشه‌راه فناوری جزئی از سیاست فناوری اکثر شرکت‌های بزرگ محسوب می‌شود. يك نظرسنجی در این زمینه در سال ۲۰۰۱ از ۲۰۰۰ بنگاه تولیدی انگلیس به‌عمل آمد، به این شکل است: فقط ۱۰% بنگاه‌های شرکت کننده در نظرسنجی (بنگاه‌های تولیدی عمدتاً بزرگ)، از ابزار نقشه‌راه فناوری استفاده می‌کردند و نزدیک به ۸۰% از این بنگاه‌ها بیش از یک‌بار از این ابزار استفاده کرده‌اند و یا در حال استفاده از آن هستند. در این نظرسنجی چالش‌های عمده‌ی ترسیم نقشه‌راه فناوری، به این شکل مشخص گردید. ۵۰% بنگاه‌های شرکت‌کننده در نظرسنجی، به‌روز نگه‌داشتن نقشه‌راه فناوری را چالش عمده‌ی ترسیم نقشه‌راه فناوری، ۳۰% بنگاه‌ها، فرآیند آغاز ترسیم نقشه‌راه فناوری، و ۲۰% بنگاه‌ها، توسعه فرآیند ترسیم نقشه‌راه فناوری را چالش اصلی ترسیم نقشه‌راه فناوری بیان کردند (فَروخ و همکاران[۶]، ۲۰۰۱). علی‌رغم نتایج تحقیق که نشان دهنده چالش‌های ترسیم نقشه‌راه است، اما مشهود است که این ابزار برای تمامی این بنگاه‌ها شناخته شده و جزئی از فرآیندهای سازمانی آن‌ها محسوب می‌شود.

---

[1] Phaal et al.
[2] Brown
[3] Marie et al.
[4] Kajikawa
[5] Bower & Christensen
[6] Farrukh et al.

یکی دیگر از کاربردهای مهم نقشه‌راه فناوری مشخص کردن اولویت‌های تحقیق و توسعه سازمان‌هاست (غفارزادگان و صدقی[1]، ۲۰۰۶). این الگوریتم شامل چهار مرحله برای تعیین اولویت‌های تحقیق و توسعه است که عبارتست از: لایه‌ی بالایی–بازار، لایه‌ی میانی–پاسخگوهای ملموس و لایه‌ی پایینی–فناوری. در این سه مرحله اولویت‌های هر لایه از روش آنالیز شبکه شطرنجی[2] بدست می‌آید (مك‌کارتی[3]، ۲۰۰۳). گام قبل، مجموعه‌ای از فناوری‌هایی که در یك کلام برای ایجاد و پاسخ به موقع به نیازمندی‌ها و جذابیت‌های آینده بازار لازم است، مشخص شدند. برخی از این فناوری‌ها، هم اکنون در دسترس سازمان هستند و برخی دیگر نیستند که باید طبق برنامه زمانی در اختیار سازمان قرار گیرد.

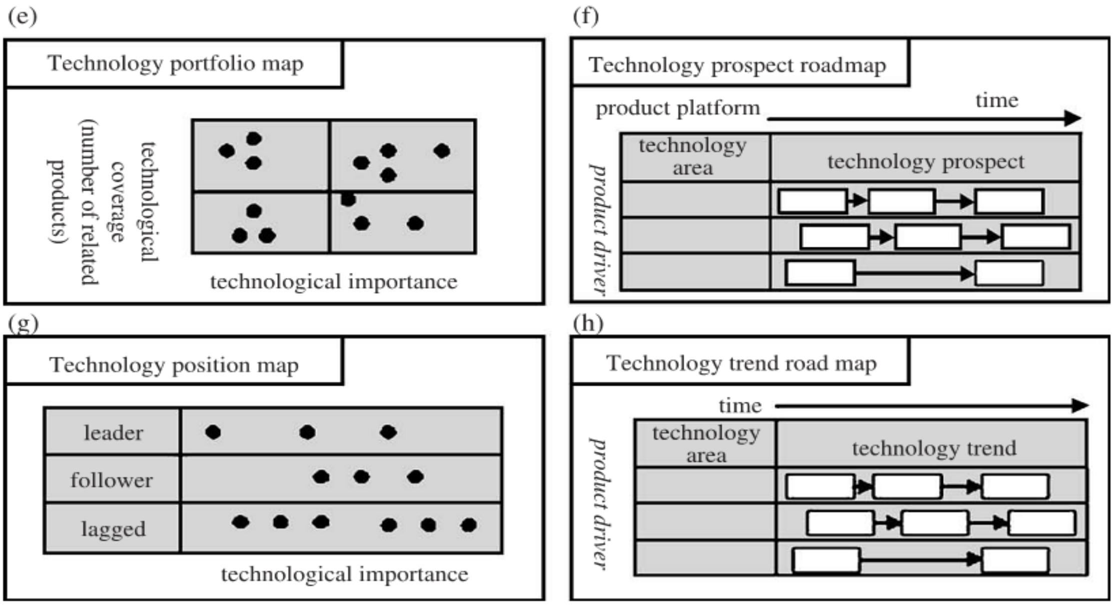
در پایان معلوم می‌شود که منابع فناوری اعم از فناوری‌های در دسترس و فناوری‌هایی که در یك برنامه دقیق زمانی باید در اختیار قرار گیرد، چگونه روی محصول اثر می‌گذارد و ویژگی‌هایی به آن می‌افزاید که مورد توجه بازار هدف و مشتریان قرار خواهد گرفت و در نتیجه در کجا نوعی تمایز اساسی در بازار ایجاد می‌کند و چه برنامه‌های تحقیقاتی و با چه جدول زمانی برای دست‌یابی به این منابع فناوریکی نیاز است و باید در اولویت قرار گیرند (مك‌کارتی، ۲۰۰۳). بدین ترتیب با پیگیری الگوریتم معرفی شده، می‌توان به تعیین اولویت‌های تحقیق و توسعه دست یافت. لی و پارک (۲۰۰۵) نیز ۸ نوع نقشه‌راه فناوری معرفی کردند که عبارتست از نقشه‌راه محصولات هم‌خانواده (اولریچ[4]، ۲۰۰۳)، نقشه‌راه محصول محور(هوستون و ترِنر[5]، ۲۰۰۱)، نقشه‌راه برنامه‌ریزی محصول(فال و همکاران، ۲۰۰۵)، نقشه‌راه تکامل محصول(آلبرایت و کاپِل، ۲۰۰۳)، نقشه‌راه موقعیت (آلبرایت و اسکالِر[6]، ۱۹۸۲)، نقشه‌راه بر مبنای سناریو (آلبرایت و اسکالِر، ۱۹۸۲) و نقشه‌راه تمایلات که در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- نقشه‌های راه محصول و فناوری (لی و پارک، ۲۰۰۵).

Figure 2- Product and technology roadmaps (Lee and Park, 2005).

[1] Sedghi
[2] Chess Grid Analysis
[3] McCarthy
[4] Ulrich
[5] Houston & Turner
[6] Schaller



شکل ۲- نقشه‌های راه محصول و فناوری (لی و پارک، ۲۰۰۵).

Figure 2- Product and technology roadmaps (Lee and Park, 2005).

از دیگر تلاش‌هایی که در زمینه توسعه کاربردهای نقشه‌راه فناوری صورت گرفته‌است می‌توان به نقشه‌راه فناوری برای یکپارچه‌سازی فرآیندهای سازمان مثلاً برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه (مك‌کارتی و همکاران، ۲۰۰۱)، نقشه‌راه مدیریت دانش (براون و اُهیر[1]، ۲۰۰۱)، نقشه‌راه توسعه محصول جدید، نقشه‌راه برای عوامل برهم زننده فناوری(وژاك و چمبرز[2]، ۲۰۰۴)، نقشه‌راه تحقیقات (فوساکا و همکاران[3]، ۲۰۰۵)، نقشه‌راه خدمات، نقشه‌راه کاربردهای صنعتی و استقرار نقشه‌راه فناوری مناسب برای برای بخش‌های خاص صنعتی (یاسوناگا و همکاران[4]، ۲۰۰۹) و نقشه‌راه فناوری برای یکپارچه‌سازی محصولات و خدمات(فرتاش و موسوی[5]، ۲۰۱۲) و یکپارچه‌سازی محصولات و خدمات با توجه به نقش فناوری در فرآیند یکپارچه‌سازی(اَن و همکاران[6]، ۲۰۰۸، گِئوم و همکاران[7]، ۲۰۱۰، گِئوم و همکاران، ۲۰۱۱) اشاره کرد. با توجه به این که توضیح مفصل این کاربردهای نقشه‌های‌راه در حوصله این مقاله نمی‌گنجد، از توضیح آن‌ها خودداری می‌کنیم.

جدول ۱ طبقه‌بندی انواع نقشه راه‌های ارائه شده بر مبنای هدف و دامنه کاربرد را نشان می‌دهد که برای مشخص کردن اهداف نقشه‌راه از چارچوب فال (فال و دیگران، ۲۰۰۵) استفاده شده است. همچنین از نظر دامنه کاربرد و سطح تصمیم‌گیری نیز، نقشه‌های‌راه به سه حوزه‌ی سازمان، صنعت و ملی تقسیم می‌شوند (غفارزادگان و پیمانخواه[8]، ۲۰۰۷). در مجموع می‌توان بیان کرد که نقشه‌های‌راه فناوری امروزه به عنوان یکی از ابزارها یا تکنیک‌های جذاب برای برنامه‌ریزان حوزه‌های فناوری شناخته می‌شود. این جذابیت موجب شده است نقشه‌های‌راه فراوانی در موضوعات مختلف فناوری ارائه گردد. این نقشه‌های‌راه علیرغم شباهت‌های متعدد، تفاوت‌هایی نیز با یکدیگر دارند و این تفاوت‌ها باعث شده است تنوعی از رویکردها در تهیه نقشه‌راه فناوری مشاهده گردد. معرفی این شباهت‌ها و تفاوت‌ها به برنامه‌ریزان فناوری می‌تواند کمک موثری به آنان در جهت تهیه و تدوین نقشه‌راه موردعلاقه‌شان باشد. از مهم‌ترین

---

[1] O'Hare
[2] Vojak & Chambers
[3] Fouskas et al.
[4] Yasunaga et al.
[5] Fartash & Mousavi
[6] An et al.
[7] Geum et al.
[8] Ghaffarzadegan & Peymankhah

موارد تشابه این نقشه‌های‌راه می‌توان به نیازمحوری و همچنین افق بلندمدت، و از مهمترین موارد تفاوت می توان به هدف، قالب، سطح جزئیات، و سطح تصمیم‌گیری اشاره نمود. از این رو انتخاب یک رویکرد مناسب جهت تهیه نقشه‌راه فناوری وابسته به تعیین دقیق موارد تفاوت فوق برای وضعیت موردنظر می‌باشد(حسینی‌نسب و همکاران[1]، ۲۰۱۰).

جدول ۱- طبقه‌بندی نقشه های‌راه.

Table 1- Classification of road maps.

ردیف	عنوان	هدف	دامنه کاربرد	افق نقشه راه
۱	نقشه راه تحقیق و توسعه ساخت قطعات و مواد در کره جنوبی	برنامه‌ریزی محصول و بلندمدت	صنعت / ملی	۲۰۱۵
۲	نقشه راه یکپارچه محصولات خدمات با رویکرد QFD (U HealthCare)	برنامه‌ریزی محصول و بلندمدت	سازمان	۲۰۲۵
۳	نقشه راه برای تولیدات پاك با استفاده از سناریو	برنامه‌ریزی استراتژيك و بلندمدت	صنعت / ملی	۲۰۲۰
۴	نقشه راه فناوری برای خدمات شرکت لیوسِنت تکنولوژی	برنامه‌ریزی فرآیندها و قابلیت	سازمان	ـ
۵	نقشه راه فناوری برای انتقال دیتا از طریق خطوط انتقال نیرو	برنامه‌ریزی استراتژيك و طرح‌ریزی برنامه	صنعت	۲۰۱۴
۶	نقشه راه فناوری پژوهشگاه صنعت نفت با استفاده از نوآوری باز	برنامه‌ریزی قابلیت و سرمایه دانش	سازمان	۱۳۹۴
۷	نقشه راه توسعه فناوری پیل سوختی کشور	برنامه‌ریزی استراتژيك و بلندمدت	ملی	۱۴۰۰
۸	نقشه راه صنعت افتا	برنامه‌ریزی استراتژيك و بلندمدت	صنعت	۱۳۹۶
۹	نقشه راه صنعت فولاد آمریکا	برنامه‌ریزی محصول و استراتژيك	صنعت	۲۰۲۱
۱۰	نقشه راه فناوری وسایل نقلیه	برنامه‌ریزی محصول و استراتژيك	صنعت	۲۰۲۲
۱۱	نقشه راه فناوری بین‌المللی برای صنعت نیمه‌هادی‌ها	برنامه‌ریزی استراتژيك و بلندمدت	صنعت	۲۰۳۴
۱۲	نقشه راه یکپارچه سیستم‌های بدون سرنشین	برنامه‌ریزی محصول، استراتژيك و بلندمدت	بین‌المللی و ملی	۲۰۳۴

۳ـ روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر، از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد و در طی آن تلاش می‌شود بتوان ترتیبی برای اولویت‌بندی اقدامات اجرایی در دو نقشه‌راه فناوری جهانی سازمان جهانی انرژی ارائه گردد. از این نظر، تحقیق حاضر، از دو نوع تحقیق کمی ـ کیفی (توصیفی) است. از آن‌جایی که این پژوهش به دنبال اولویت‌بندی منابع و اکتساب فناوری در دو نقشه‌راه فناوری و الگویی برای استفاده مشترک از منابع و اکتساب فناوری، برای تدوین نقشه‌راه فناوری چند صنعتی است، تحقیق از نوع توصیفی و کیفی است. در این تحقیق، اولویت‌های دو نقشه‌راه فناوری بدست آمده و نقشه‌راه

[1] Hosseini Nasab et al.

فناوری تدوین شده بر اساس منابع مشترک توصیف و تشریح خواهد شد. در پژوهش حاضر، محقق با بررسی و مطالعه مستقیم دو نقشه‌راه مورد مطالعه، اطلاعات مورد نیاز استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. تحقیق حاضر، از این دیدگاه به دو بخش می‌تواند تقسیم شود که قسمت اول، مطالعات کتابخانه‌ای است که عمدتاً تبیین مبانی نظری و ادبیات تحقیق پرداخته است. این بخش از تحقیق با مراجعه به منابع ثانویه، شامل مطالعه بیش از ۳۰ مقاله به روز خارجی و بیش از ۱۰ مقاله داخلی که عمدتاً مقالات ارائه شده در کنفرانس‌های مختلف هستند، چند پایان‌نامه مرتبط و کتب مربوط، استخراج شده است. قسمت دوم، مطالعات میدانی به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای اولویت‌بندی و پاسخگویی به سؤالات تحقیق و نتیجتاً تحقق اهداف تحقیق می‌باشد که این بخش هم از منابع ثانویه و به عبارتی مطالعه و بررسی دقیق اسناد نقشه‌های‌راه مورد مطالعه و استخراج چالش‌های اصلی نقشه‌های راه به عنوان اولویت‌های اجرایی انجام گردید.

۳ـ ۱ـ نقشه‌های‌راه مورد مطالعه

دو نقشه‌راه فناوری در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این نقشه‌راه فناوری عبارتند از: الف‌ـ نقشه‌راه فناوری خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز الکتریکی[1] و ب‌ـ نقشه‌راه فناوری شبکه‌های هوشمند[2]. هر دو نقشه‌راه فناوری در سال ۲۰۱۱ میلادی و با افق سال ۲۰۵۰، توسط آژانس بین‌المللی انرژی[3] تدوین شده‌اند. هردوی این نقشه‌ها به موضوعاتی جدید در حوزه‌ی انرژی می‌پردازند و سعی در کاهش مصرف سوخت‌های رایج امروز را دارند. این دو نقشه‌راه هر دو به روز هستند و به دلیل نحوه‌ی تعامل آن‌ها با هم از بین نقشه‌های‌راه مختلف انتخاب شدند و در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

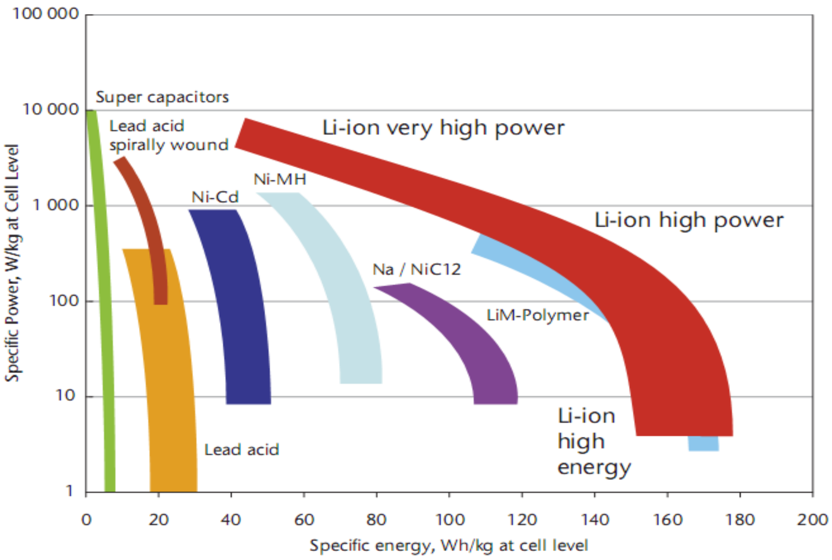
۳ـ ۱ـ ۱ـ مقایسه و فناوری‌های گوناگون باتری‌ها و تعیین وزن مشخصات فنی

شکل ۲ چند باتری متفاوت (می‌توان گفت تمامی نسل‌های باتری‌ها را در می‌گیرد[4]) را از دو جنبه‌ی توان و انرژی باتری‌های مختلف، نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که باتری سلول لیتیم[5] دارای بهترین مشخصات از هر دو جنبه توان و انرژی است.

در ادامه با توجه به بهینه بودن باتری‌های خانواده سلول لیتیم، به مقایسه باتری‌های این خانواده بر اساس مشخصات فنی پرداخته می‌شود. این مشخصات عبارتند از انرژی[6]، توان[7]، Low T، عمرنامی[8]، عمرواقعی[9]، ایمنی[10]، هزینه بر حسب کیلووات ساعت[11] و بلوغ فناوری[12] باتری اشاره کرد. مشروح این مشخصات فنی در جدول ۲ آورده شده است.

[1] EV/PHEV Technology Roadmap
[2] Smart Grid Technology Roadmap
[3] International Energy Agency (IEA)
[4] Johnson Control- SAFT 2005 & 2007
[5] Lithium-ion
[6] Energy
[7] Power
[8] Calender life
[9] Cycle Life
[10] Safety
[11] Cost/Kwh
[12] Maturity

همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، پنج باتری با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که به ترتیب عبارتند از اکسید کبالت لیتیم[1]، نیکل کبالت و آلومینیوم[2]، نیکل منگنز کبالت[3]، لیتیم پلیمر[4] و فسفات آهن و لیتیم[5].



شکل ۲- مقایسه انرژی و توان انواع مختلف باتری.

Figure 2- Comparison of energy and power of different types of batteries.

جدول ۲- مشخصات فنی باتری‌های خانواده سلول لیتیم (گیبرت[6]، ۲۰۰۹).

Table 2- Technical specifications of lithium cell family batteries (Gibert, 2009).

	Lithium cobalt oxide ($LiCoO_2$)	Nickel, cobalt and aluminium (NCA)	Nickel-mangenese-cobalt (NMC)	Lithium polymer ($LiMn_2O_2$)	Lithium iron phosphate ($LiFePo_4$)
انرژی	Good	Good	Good	Average	Poor
توان	Good	Good	Good	Good	Average
Low T	Good	Good	Good	Good	Average
عمرنامی	Average	Very Good	Good	Poor	Very High
عمرواقعی	Average	Very Good	Good	Average	Average
ایمنی	Poor	Poor	Poor	Average	Good
هزینه	Very High	High	High	High	High
بلوغ فناوری	High	High	High	High	Low

برای تعیین اوزان به روش آنتروپی شانون ابتدا، اطلاعات کیفی جدول ۲ می‌بایست، کمی گردد. بدین منظور از طیف لیکرت ۹ گزینه‌ای استفاده می‌کنیم. برای داده‌های با مطلوبیت منفی این طیف برعکس می‌شود. تمامی شاخص‌های

[1] Lithium cobalt oxide (LiCoO2)
[2] Nickel, cobalt & aluminium (NCA)
[3] Nickel-mangenese- cobalt (NMC)
[4] Lithium polymer (LiMn2O2)
[5] Lithium iron phosphate (LiFePo4)
[6] Guibert, Anne de

جدول ۲ به جز قیمت که مطلوبیت منفی دارد، دارای مطلوبیت مثبت هستند. اطلاعات کمی شده در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مشخصات فنی کمی‌شده باتری‌های خانواده سلول لیتیم.

Table 3- Quantitative technical specifications of lithium cell family batteries.

	Lithium cobalt oxide ($LiCoO_2$)	Nickel, cobalt and aluminium (NCA)	Nickel-mangenese-cobalt (NMC)	Lithium polymer ($LiMn_2O_2$)	Lithium iron phosphate ($LiFePo_4$)
انرژی (+)	۶	۶	۶	۵	۲
توان (+)	۶	۶	۶	۶	۵
Low T (+)	۶	۶	۶	۶	۵
عمرنامی (+)	۵	۷	۶	۲	۱
عمرواقعی (+)	۵	۷	۶	۵	۵
ایمنی (+)	۲	۲	۲	۵	۶
هزینه (ـ)	۱	۲	۲	۲	۲
بلوغ فناوری (+)	۸	۸	۸	۸	۲

حال بایستی داده‌های کمی به روش ساعتی، بی‌مقیاس شوند و Ej، dj و W_j به ترتیب جدول ۴ محاسبه شدند.

جدول ۴- نتایج اوزان مشخصات باتری.

Table 4- Results of battery specifications.

	انرژی	توان	Low T	عمرنامی	عمرواقعی	ایمنی	هزینه	بلوغ فناوری
Ej	۰/۹۶۳۹	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۸۴	۰/۸۹۱۴	۰/۹۲۳۸	۰/۹۲۱۳	۰/۹۸۲۳	۰/۹۸۲۳
dj	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵	۰/۱۰۸۵	۰/۰۰۶۱	۰/۰۷۸۶	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۷۶
W_j(اوزان)	۰/۱۳۴۵	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۷	۰/۴۰۵۵	۰/۰۲۲۸	۰/۲۹۳۹	۰/۰۶۵۸	۰/۰۶۵۸

به دلیل وزن و اهمیت کلی بسیارکم دو شاخص بلوغ فناوری و Low T و نیز محدودیت نرم‌افزار محاسبه[1] اولویت‌ها (حداکثر ۳۰ ارزیابی) از محاسبات بعدی حذف شدند.

۳ـ۱ـ۲ـ مقایسه چند مدل خودروی الکتریکی و تعیین وزن مشخصات فنی خودروها

طبق افق چشم‌انداز سناریوی نقشه آبی[2] آژانس بین‌المللی انرژی، می‌بایست سهم بازار (برحسب تعداد فروش خودروهای موردبحث در این نقشه راه به ترتیب جدول ۵ باشد.

جدول ۵- فروش خودروهای الکتریکی برحسب تعداد (میلیون) از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰.

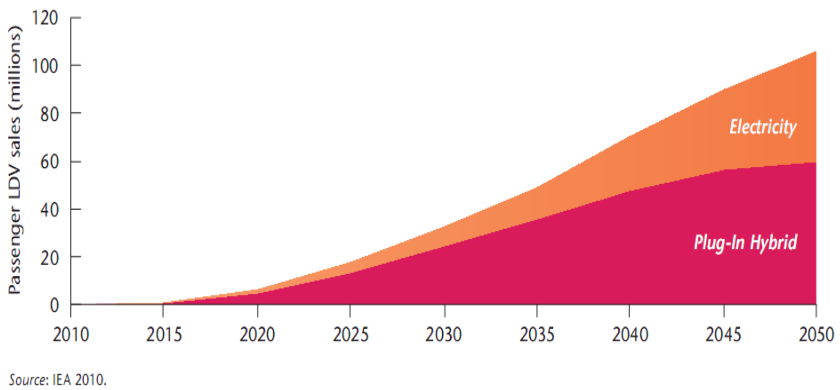
Table 5 - Sales of electric vehicles by number (million) from 2010 to 2050.

	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰	۲۰۳۵	۲۰۴۰	۲۰۴۵	۲۰۵۰
PHEV[3]	۰/۰	۰/۷	۴/۹	۱۳/۱	۲۴/۶	۳۵/۶	۴۷/۷	۵۶/۳	۵۹/۷
EV[4]	۰/۰	۰/۳	۲	۴/۵	۸/۷	۱۳/۹	۲۳/۲	۳۳/۹	۴۶/۶
جمع	۰/۰	۱/۱	۶/۹	۱۷/۷	۳۳/۳	۴۹/۵	۷۰/۹	۹۰/۲	۱۰۶/۴

[1] Decision Lab
[2] Blue Map
[3] Plug-in Hybrid Vehicle
[4] Electric Vehicle

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰ـ۳۴۶

همین موضوع را در شکل ۳ نیز می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۳- فروش سالانه خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز الکتریکی در سناریوی نقشه آبی.
Figure 3- Annual sales of electric and dual-fuel electric vehicles in the blue map scenario.

در این سناریو برای محقق شدن کاهش گازهای گل‌خانه‌ای تا افق ۲۰۵۰، فروش سالانه کشورهای عضو آژانس تا سال ۲۰۵۰ نیز مشخص شده است که در نقشه‌راه مذکور آورده شده است و از ذکر آن خودداری می‌کنیم. هم‌چنین خودروسازهای فعال در این زمینه، بر اساس برآورد تعداد فروش و شرکت‌های همکار در توسعه فناوری باتری نیز مشخص شده است.

برای تحقق اهداف در نقشه‌راه خودروهای الکتریکی چند عامل مهم و کلیدی به عبارتی گلوگاهی در توسعه خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوزالکتریکی به شرح زیر است:

- قیمت باتری: همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، به دلیل قیمت بالا و نیز توسعه باتری که خود به عنوان چالش اصلی این نقشه‌راه بیان شد، توسعه این‌گونه خودروها را با مشکل مواجه می‌کند. این امر سبب افزایش بسیار زیاد قیمت خودروهای ساخته شده و غیرقابل رقابت بودن با دیگر خودروها می‌گردد، که می‌بایست بتوان بر این مشکل غلبه کرد.
- مسافت طی‌شده با هربار شارژ: خودروهای برقی با طی مسافت کمتر از ۱۵۰ کیلومتر با هر بار شارژ، نیاز به عوامل زیادی دارد. اولاً نیازمند زیرساخت‌های لازم با قابلیت شارژ سریع و ثانیاً زیرساخت‌ها باید در اکثر نقاط به سهولت در دسترس باشد. این مقوله نیز به شدت به توسعه باتری برای قابلیت شارژ سریع و توانایی ذخیره مقدار بیشتر انرژی دارد.
- دسترسی به سیستم‌های ناوبری[1] برای سهولت در دسترسی به زیرساخت‌های لازم: با فراهم کردن قابلیت دسترسی از طریق سیستم‌های ناوبری، عدم قطعیت در مورد این خودروها کمتر شده و مشتریان به خرید این‌گونه خودروها راغب‌تر خواهند شد.
- تولید انبوه و مزیت مقیاس[2]: یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در فروش کالاها جدا از مزیت‌های عملکردی و فنی، قیمت کالا است، با افزایش تولید در ابعاد تولید انبوه، می‌توان قیمت تمام شده را تا حد بسیار زیادی کاهش داد. این امر می‌تواند در محبوبیت این خودروها و افزایش فروش آن‌ها بسیار تاثیرگذار باشد.

مشخصات تعدادی از خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز الکتریکی در جدول ۶ آورده شده است.

[1] GPS (Global Positioning System)
[2] Critical mass & eonomies of scale

جدول ۶- مشخصات خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز الکتریکی.

Table 6- Specifications of electric and dual-fuel electric vehicles.

شرکت سازنده	کشور سازنده	مدل خودرو	نوع خودرو	ظرفیت باتری (kWh)	مسافت طی شده با هر بار شارژ	ابعاد(m) طول * عرض * ارتفاع	وزن (Kg)	قیمت (دلار آمریکا)
Nissan	ژاپن	Leaf	EV	۲۴	۱۶۰	۱/۵۴*۱/۷۷*۴/۴۴	۱۵۲۰	۳۲۸۰۰
Mitsubishi	ژاپن	iMiEV	EV	۱۶	۱۶۰	۱/۶۱*۱/۴۷*۳/۳۹	۱۱۷۲	۳۰۰۰۰
BYD	چین	E6	EV	۶۰	۳۵۰	۱/۶۳*۱/۸۲*۴/۵۵	۲۰۲۰	۳۵۰۰۰
GM	آمریکا	Volt	PHEV	۱۶	۶۰	۱/۴۳*۱/۷۸*۴/۵۰	۱۷۱۵	۴۱۰۰۰
Tesla	آمریکا	Roadster	EV	۵۶	۳۹۴	۱/۱۲*۱/۸۵*۳/۹۴	۱۲۳۶	۱۲۸۵۰۰
Mahindra	هند	NXG	EV	۱۴	۲۰۰	۱/۵۵*۱/۶۴*۲/۶۲	۸۲۵	۲۶۳۸۸

همانند محاسبات مربوط به اوزان باتری، ابتدا باید داده‌های موجود در این جدول بایستی بی‌مقیاس شود و سپس به کمك آنتروپی شانون نسبت به محاسبه وزن هريك از مشخصات خودروها اقدام گردد. ضمناً برای ابعاد متوسط طول و عرض و ارتفاع به‌عنوان اندازه در نظر گرفته‌شده است. لازم به ذکر است تمامی شاخص‌های وزن، قیمت و سایز دارای مطلوبیت منفی و شاخص‌های ظرفیت باتری و مسافت طی شده با هر بار شارژ دارای مطلوبیت مثبت می‌باشند. نتایج محاسبات آنتروپی شانون در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- نتایج اوزان مشخصات خودروها.

Table 7- Results of vehicle specifications.

	ظرفیت باتری	مسافت طی شده با هر بار شارژ	ابعاد	وزن	قیمت
Ej	۰/۸۹۷۰	۰/۹۲۲۰	۰/۹۹۲۷	۰/۹۷۸۵	۰/۸۸۴۲
dj	۰/۱۰۲۹	۰/۰۷۹۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۲۱۴	۰/۱۱۵۷
Wj (اوزان)	۰/۳۱۴۶	۰/۲۴۳۷	۰/۰۲۲۰	۰/۰۶۵۶	۰/۳۵۳۸

همان‌طور که پیش‌بینی نیز می‌شد سه عامل قیمت، ظرفیت باتری و مسافت طی شده با هر بار شارژ به ترتیب دارای بیشترین اهمیت هستند. بازهم مشاهده می‌شود باتری دارای بیشترین اولویت در رقابت‌پذیری خودروها می‌باشد.

۲ـ۳ـ رتبه‌بندی (اولویت‌بندی) گزینه‌ها

در قسمت قبل نسبت وزن شاخص‌های مهم باتری به‌عنوان چالش کلیدی و نیز تعیین اوزان مشخصات خودروها اقدام و وزن‌ها را محاسبه نمودیم. در این ادامه به رتبه‌بندی گزینه‌ها با دو نرم‌افزار تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی[1] TOPSIS و PROMETHEE می‌پردازیم.

[1] MCDM (Multi Criteria Decision Making)

۳ـ۲ـ۱ـ رتبه‌بندی با روش PROMETHEE

به دلیل عدم امکان تهیه‌ی نسخه‌ی نهایی (به دلیل عدم امکان پرداخت وجه نرم‌افزار از ایران)، از نسخه‌ی محدود به ۳۰ ارزیابی استفاده گردید که به کلیت تحقیق به‌هیچ‌وجه خللی وارد نساخت. در ابتدا به رتبه‌بندی باتری‌ها و سپس رتبه‌بندی خودروها می‌پردازیم.

۲ـ۲ـ۳ـ رتبه‌بندی باتری‌ها

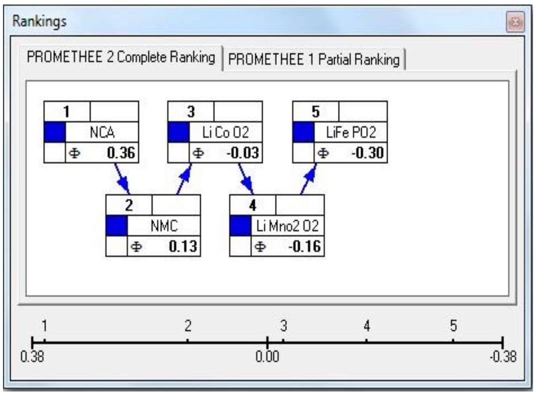
در ابتدا اوزان به‌دست‌آمده در قسمت قبل، مشخصات تمامی شاخص‌ها (مطلوبیت، نوع شاخص و واحد) و گزینه‌ها در نرم‌افزار وارد گردید. در مورد تابع ترجیح، برای تمامی متغیرها به‌جز قیمت، تمامی شاخص‌ها دارای تابع ترجیح خطی با آستانه بی‌تفاوتی ۳% و آستانه ترجیح ۱۰% و قیمت نیز تابع ترجیح V شکل با مقدار بی‌تفاوتی ۵% تعریف شدند. البته تمامی این تعاریف برای محاسبات PROMETHEE I می‌باشد که در آن برای دقیق‌تر بودن رتبه‌بندی آستانه بی‌تفاوتی و آستانه ترجیح مورداستفاده قرار می‌گیرد. پس از واردکردن اطلاعات در نرم‌افزار می‌توان تمامی محاسبات مربوط به رتبه‌بندی را انجام داد. در شکل ۴ جریان‌های مثبت و منفی رتبه‌بندی دیده می‌شود.

Preference Flows

	Φ+	Φ-	Φ
Li Co O2	0.3633	0.3890	-0.0257
NCA	0.5355	0.1760	0.3595
NMC	0.4201	0.2914	0.1287
Li Mno2 O2	0.3844	0.5455	-0.1611
LiFe PO2	0.3166	0.6179	-0.3014

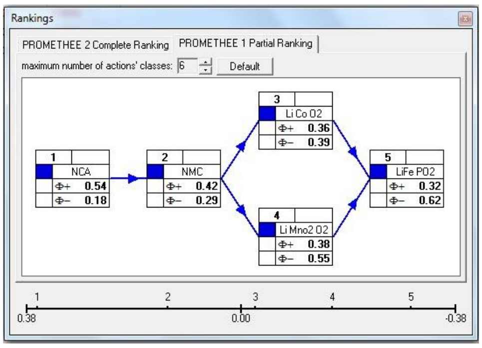
شکل ۴- جریان‌های مثبت و منفی رتبه‌بندی باتری‌ها.
Figure 4- Positive and negative currents of battery rating.

در ادامه هم رتبه‌بندی کامل بدون در نظر گرفتن ترجیحات (PROMETHEE II) در شکل ۵ نشان داده‌شده است. اشکال عمده‌ی این روش که روش‌هایی زیادی با این منطق رتبه‌بندی را انجام می‌دهند، این است که نمی‌توان تشخیص داد بین رتبه‌های مختلف چقدر اختلاف وجود دارد و یا این‌که گزینه برتر چقدر از گزینه‌های دیگر بهتر است. در این روش به کمك تعریف آستانه بی‌تفاوتی و ترجیح (PROMETHEE I) این موضوع مرتفع شده است.



شکل ۵- رتبه‌بندی کامل باتری‌ها با PROMETHEE II.
Figure 5- Complete ranking of batteries with PROMETHEE II.

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، رتبه پنج باتری مقایسه شده به ترتیب بالاست. سپس همین رتبه‌بندی به کمك روش PROMETHEE I با در نظرگرفتن آستانه بی‌تفاوتی و ترجیح به ترتیبی که در شکل ۶ دیده می‌شود، انجام شد.



شکل ۶- رتبه‌بندی جزئی باتری‌ها با PROMETHEE I.

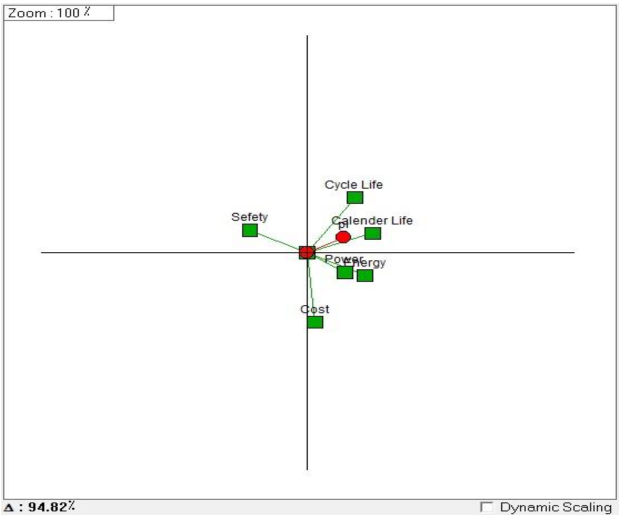
Figure 6- Partial rating of batteries with PROMETHEE I.

رتبه‌بندی کامل شکل ۶ نشان می‌دهد که گزینه‌های ۳ و ۴ با آستانه بی‌تفاوتی تعیین شده، دارای تفاوتی با هم نیستند اگر چه در رتبه‌بندی بدون در نظرگرفتن ترجیحات، این مسئله قابل درك نخواهد بود و ممکن است، تصمیم‌گیرنده بدون علم به این‌که گزینه‌ی برتر دارای تفاوت زیادی با گزینه‌ی بعدی نیست، نتواند تصمیمی درست اتخاذ نماید. در ادامه به روش تحلیل مکان هندسی[1] برای تحلیل گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌پردازیم.

در تحلیل هندسی برای کمك متقابل، جریان خالص رتبه‌بندی توسط نرم‌افزار مشخص می‌شود و تصمیم‌گیرنده با توجه به نظر خود می‌تواند و با توجه به جریان رتبه‌بندی مناسب‌ترین گزینه را انتخاب نماید. در شکل ۷ جریان خاصل رتبه‌بندی باتری‌ها به همراه شاخص‌های تصمیم‌گیری (مشخصات فنی باتری‌ها) نشان داده شده است، همانطور که در شکل هم شخص است، به سادگی می‌توان وضعیت هر شاخص را با جریان خالص رتبه‌بندی مقایسه کرد و می‌توانیم دریابیم کدام شاخص به جریان رتبه‌بندی نزدیك‌تر است و کدام شاخص دورتر است. اطلاعات بدست آمده توسط تحلیل هندسی برای کمك متقابل مفیدتر از اطلاعاتی است که از جداول ارزیابی اولیه بدست می‌آید، زیرا درجه‌های برتری ارائه شده با شاخص تعمیم یافته برای محاسبه داده می‌شود (مومنی[2]، ۲۰۱۱). در این روش مجموعه‌ی گزینه‌های می‌تواند با n نقطه در فضای k بعدی ارائه گردد. با توجه به این موضوع که به طور معمول تعداد شاخص‌ها بیش از دو شاخص است، تصویر واضح از فضای n بعدی تقریباً غیرممکن است و بنابراین تحلیل ترکیبات اصلی می‌تواند شبیه تحلیل‌های دو بعدی گزینه‌ها به کار رود (برَنز[3]، ۲۰۰۲).

---

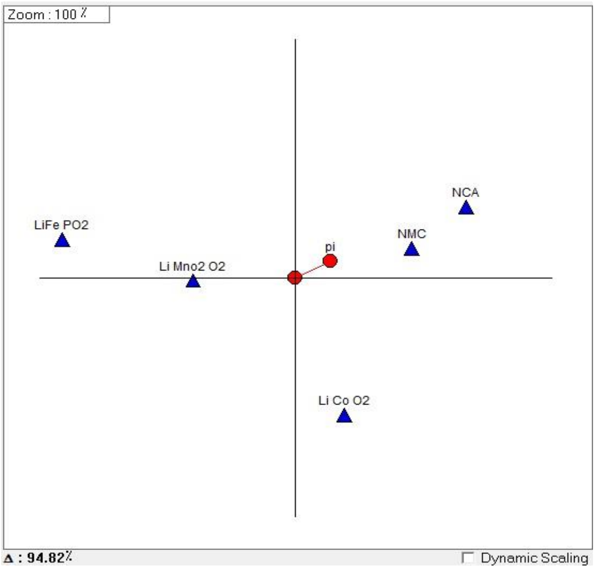
[1] GAIA
[2] Momeni
[3] Brans, J.P



شکل ۷- جریان خالص رتبه‌بندی باتری‌ها و موقعیت هر یك از شاخص‌ها نسبت به آن.
Figure 7- Net battery rating current and position of each indicator relative to it.

جریان خاص رتبه‌بندی با P_i و رنگ قرمز مشخص‌شده است. دو شاخص توان و عمر واقعی به دلیل وزن بسیار کم در مرکز این مکان هندسی قرار دارند. در بین شاخص‌ها، انرژی و عمرنامی از دیگر شاخص به جریان خالص رتبه‌بندی نزدیك‌تر هستند و قیمت دورترین شاخص از جریان رتبه‌بندی است.

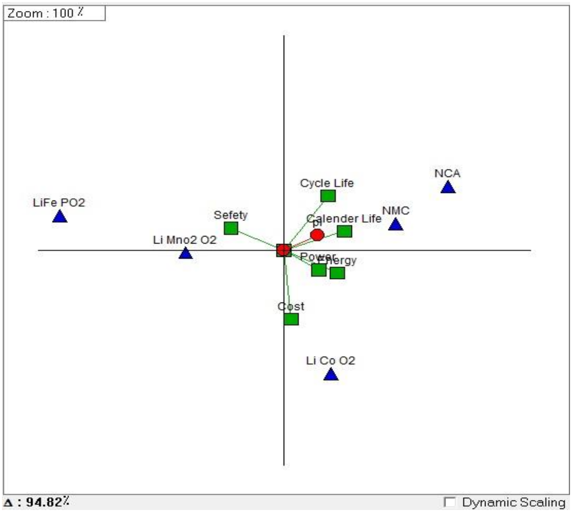
در شکل ۸ جریان خالص رتبه‌بندی و گزینه‌ها در یك مکان هندسی نشان داده‌شده‌اند که امکان مقایسه گزینه‌ها و جریان خالص رتبه‌بندی را فراهم می‌نماید. در شکل ۸ نیز به‌وضوح می‌توان وضعیت گزینه‌ها و جریان خالص رتبه‌بندی را باهم در یك مکان هندسی مشاهده نمود و بر این اساس تصمیمات درخور اتخاذ گردد.



شکل ۸- جریان خالص رتبه‌بندی باتری‌ها و موقعیت هر یك از گزینه‌ها (باتری‌ها) نسبت به آن.
Figure 8- Net current rating of batteries and the position of each of the options (batteries) relative to it.

در شکل ۹ جریان خالص رتبه‌بندی این بار همراه با شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم همه باهم در یك مکان هندسی نمایش داده‌شده‌اند. با این مکان هندسی می‌توان وضعیت گزینه‌ها را نسبت به هر شاخص، به‌طور دقیق مشاهده نمود. به‌طور مثال ممکن است تصمیم‌گیرنده بخواهد بداند، هرگزینه نسبت به یك شاخص خاص چه وضعیتی دارد. با این تحلیل مکان هندسی این امکان به سهولت برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌شود. پیش‌تر هم اشاره شد که تحلیل

مکان هندسی مفیدتر از ارزیابی‌های اولیه و عمدتاً معمول است. زیرا با این تحلیل با یک‌شکل می‌توان تمامی ابعاد مسئله را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد.



شکل ۹- جریان خالص رتبه‌بندی باتری‌ها و موقعیت هر یك از گزینه‌ها و شاخص‌ها نسبت به آن.

Figure 9- Net current rating of batteries and the position of each of the options and indicators relative to it.

۳ـ۲ـ۳ـ رتبه‌بندی خودروها

همان مراحل طی شده برای رتبه‌بندی باتری‌ها را یك‌بار دیگر برای رتبه‌بندی خودروها انجام می‌دهیم. در ابتدا اوزان به‌دست‌آمده به کمك آنتروپی شانون و تمامی مشخصات کمی گزینه‌های تصمیم‌گیری (در این قسمت خودروها) را وارد نرم‌افزار می‌کنیم. تعریف توابع ترجیح و آستانه‌های بی‌تفاوتی و ترجیح دقیقاً مانند رتبه‌بندی باتری‌هاست به‌این‌ترتیب که تمامی متغیرها به‌جز قیمت، تمامی شاخص‌ها دارای تابع ترجیح خطی با آستانه بی‌تفاوتی ۳% و آستانه ترجیح ۱۰% و قیمت نیز تابع ترجیح V شکل با مقدار بی‌تفاوتی ۵% تعریف شدند. در شکل ۱۰ جریان‌های مثبت، منفی و خالص رتبه‌بندی نشان داده‌شده است.

Preference Flows

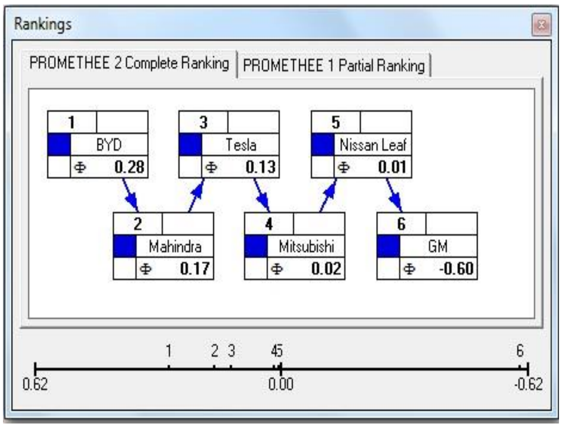
	Φ+	Φ-	Φ
Nissan Leaf	0.4762	0.4707	0.0055
Mitsubishi	0.4470	0.4278	0.0192
BYD	0.6256	0.3444	0.2811
GM	0.1689	0.7682	-0.5993
Tesla	0.5437	0.4171	0.1266
Mahindra	0.5834	0.4166	0.1668

شکل ۱۰- جریان‌های مثبت و منفی رتبه‌بندی خودروها.

Figure 10- Positive and negative currents of car ranking.

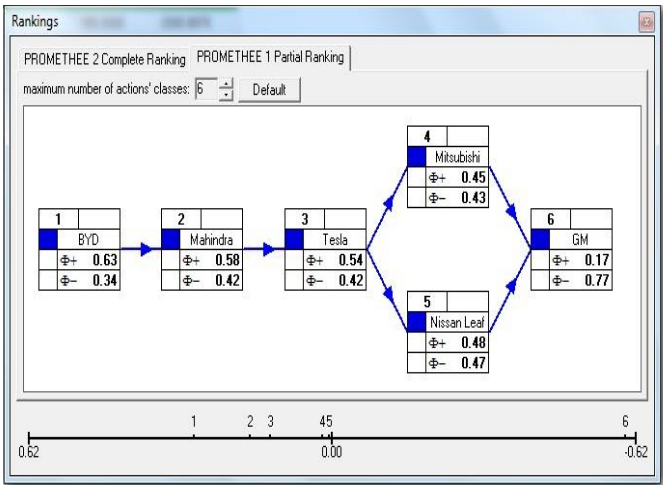
رتبه‌بندی کامل بدون در نظر گرفتن ترجیحات (PROMETHEE II) در شکل ۱۱ نشان داده‌شده است. در این شکل رتبه‌بندی خودروها انجام و قابل‌مشاهده است.

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶



شکل ۱۱- رتبه‌بندی کامل خودروها با PROMETHEE II.
Figure 11- Complete ranking of cars with PROMETHEE II.

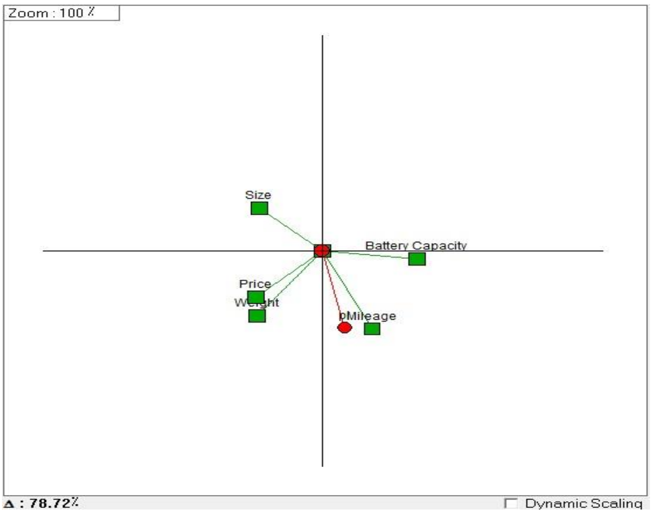
رتبه‌ی هر گزینه در شکل بالا مشخص است، اما بازهم این‌که هر گزینه نسبت به دیگر گزینه‌ها چقدر برتری دارد، مشخص نیست. رتبه‌بندی جزئی با در نظرگرفتن آستانه بی‌تفاوتی و ترجیح در شکل ۱۲ نشان داده‌شده است.



شکل ۱۲- رتبه‌بندی جزئی خودروها با PROMETHEE I.
Figure 12- Partial ranking of cars with PROMETHEE I.

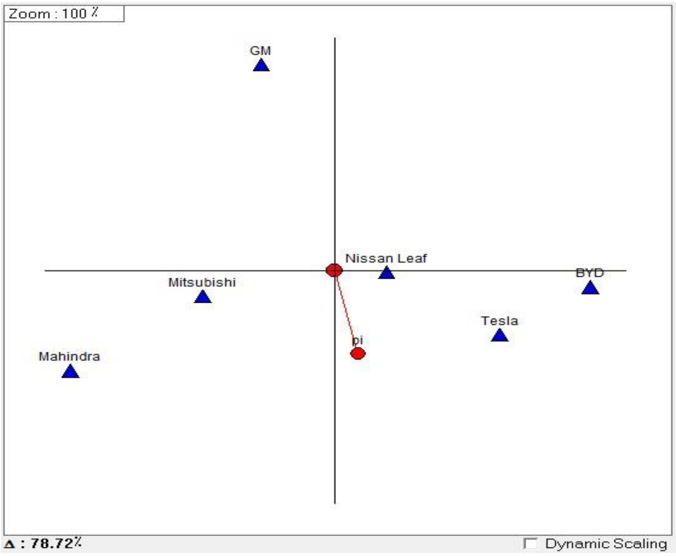
رتبه‌بندی جزئی خودروها با در نظرگرفتن ترجیحات به ترتیب بالا است. بین رتبه‌ی ۱ و ۲ دارای تفاوت قابل‌توجهی نیستند، اگرچه رتبه‌ها مشخص‌شده است. این موضوع در مورد رتبه‌ی ۴ و ۵ هم صادق است. این‌گونه رتبه‌بندی، تصمیم‌گیری را تسهیل نموده و آن را اثربخش‌تر می‌نماید. در ادامه همانند باتری‌ها، به تحلیل مکان هندسی گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌پردازیم تا دیدی دقیق و جزئی‌تر نسبت به وضعیت هر شاخص نسبت به جریان رتبه‌بندی و دیگر شاخص‌ها، هر گزینه به نسبت به جریان رتبه‌بندی و دیگر گزینه‌ها و نهایتاً وضعیت جریان رتبه‌بندی نسبت به گزینه‌ها و شاخص به‌صورت هم‌زمان ارائه می‌گردد تا امکان تصمیم‌گیری با سهولت بیشتری فراهم آید.

در شکل ۱۳ جریان خالص رتبه‌بندی و موقعیت هر يك از شاخص‌های تصمیم‌گیری نسبت به آن مشخص‌شده است.



شکل ۱۳- جریان خالص رتبه‌بندی خودروها و موقعیت هر یك از شاخص‌ها نسبت به آن.
Figure 13- Net flow of vehicle ratings and the position of each indicator relative to it.

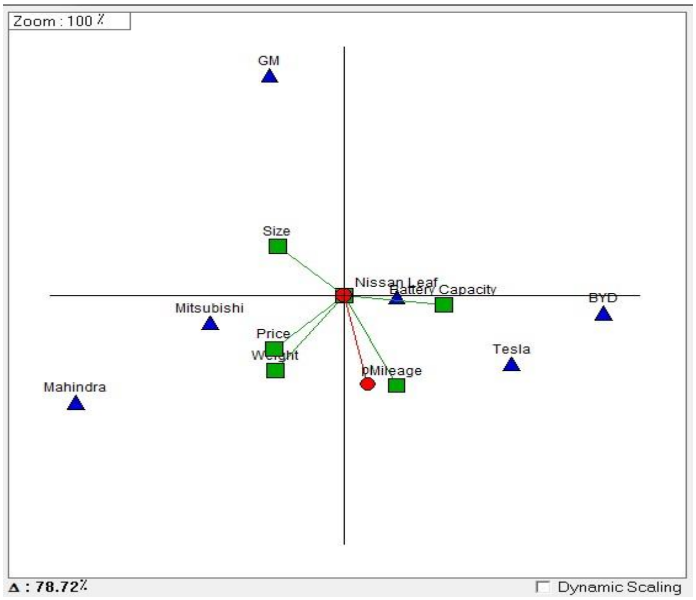
نزدیك‌ترین شاخص‌ها به جریان رتبه‌بندی به ترتیب عبارت‌اند از: مسافت طی شده با هر بار شارژ، وزن خودرو و قیمت و ابعاد خودرو دورترین شاخص از جریان رتبه‌بندی است. در شکل ۱۴ همین تحلیل را برای مقایسه جریان رتبه‌بندی و هر یك از گزینه‌ها و نیز مقایسه هریك از گزینه‌ها با گزینه‌های دیگر نشان داده‌شده است.



شکل ۱۴- جریان خالص رتبه‌بندی خودروها و موقعیت هر یك از گزینه‌ها (خودروها) نسبت به آن.
Figure 14- Net flow of car ratings and the position of each of the options (vehicles) in relation to it.

نکته‌ی قابل‌توجهی که از شکل ۱۴ برمی‌آید، این است که خودروها در تمامی ربع‌های مکان هندسی پخش‌شده‌اند. از این امر چنین استنباط می‌شود که هنوز خودروهای الکتریکی نتوانسته‌اند ازنظر مشخصات فنی به یك اجماع عمومی در سطح صنعت برسند و به همین دلیل توزیع خودروها در صفحه‌ی مکان هندسی دارای پراکندگی زیاد می‌باشد. در شکل ۱۵، جریان رتبه‌بندی، شاخص‌ها و گزینه‌ها هم‌زمان نمایش داده‌شده است.

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶



شکل ۱۵- جریان خالص رتبه‌بندی و موقعیت هر یك از گزینه‌ها و شاخص‌ها نسبت به آن.

Figure 15- Net ranking flow and position of each of the options and indicators relative to it.

درمجموع تحلیل مکان هندسی بسیار مفید بوده و علاوه بر مقایسه جزئی، یکی از مزایای کلیدی روش PROMETHEE محسوب می‌شود.

٤ـ۲ـ۳ـرتبه‌بندی با روش TOPSIS

برای بررسی هر چه دقیق‌تر رتبه‌بندی اقدامات که با توجه توضیحات قبل تا حد بسیار زیادی درگرو توسعه باتری‌ها به‌عنوان اساسی‌ترین چالش نقشه‌راه‌های موردمطالعه می‌باشد، رتبه‌بندی را با روش TOPSIS انجام می‌دهیم. این روش محتاطانه عمل می‌کند، به این شکل که جریان رتبه‌بندی حاصل از آن، دارای کمترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل مثبت و دارای بیشترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل منفی می‌باشد. حال آن‌که PROMETHEE به دنبال برقراری تعادل بین دو جریان مثبت و منفی رتبه‌بندی است.

٥ـ۲ـ۳ـ رتبه‌بندی باتری‌ها

با واردکردن گزینه‌ها و شاخص‌های تصمیم‌گیری در ماتریس تصمیم‌گیری در شکل ۱۶ و مشخص کردن وزن هریك از شاخص‌ها در آن، جریان رتبه‌بندی باتری‌ها به ترتیب جدول ۸ مشخص گردید.

Type:+OR-?	+	+	+	+	+	-
	Energy	Power	Calender Life	Cycle life	Safety	Cost
$LiCoO_2$	6	6	5	5	2	1
NCA	6	6	7	7	2	2
NMC	6	6	6	6	2	2
$LiMno_2O_2$	5	6	2	5	5	2
$LiFePo_2$	2	5	1	5	6	2
Wj	0.135	0.006	0.4056	0.0229	0.294	0.066

شکل ۱۶- ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی باتری‌ها.

Figure 16 - Decision matrix for ranking batteries.

با توجه توضیحات داده‌شده در مورد منطق محاسباتی نرم‌افزار TOPSIS و احتیاط آن در رتبه‌بندی انتظار می‌رفت، جریان رتبه‌بندی PROMETHEE و TOPSIS یکسان نباشد. با محاسبه رتبه‌ها مشاهده گردید، نتیجه رتبه‌بندی در هر دو روش یکسان می‌باشد. توجیح این موضوع به این صورت است که توابع ترجیح تعریف‌شده درروش PROMETHEE به‌صورت اتفاقی منجر به جواب‌های یکسان با روش TOPSIS شده است.

جدول ۸- نتایج رتبه‌بندی باتری‌ها به روش TOPSIS.
Table 8- Results of battery classification by TOPSIS method.

رتبه‌ها به ترتیب	cl_i	
A_2(NCA)	cl_2=	۰/۶۲۶
A_3(NMC)	cl_3=	۰/۵۷۵
A_1(li Co O_2)	cl_1=	۰/۵۰۳
A_4(Li mno_2 O_2)	cl_4=	۰/۳۷۳
A_5(Li Fe Po_2)	cl_5=	۰/۳۷۲

با توجه به یکسان بودن نتیجه‌ی رتبه‌بندی باتری‌ها در دو روش نیازی به استفاده از استراتژی‌های اولویت‌بندی وجود ندارد. در ادامه به بررسی رتبه‌بندی خودروها می‌پردازیم.

٦ـ۲ـ۳ـ رتبه‌بندی خودروها

همانند رتبه‌بندی باتری‌ها، برای رتبه‌بندی خودروها نیز ماتریس تصمیم‌گیری را با واردکردن مشخصات، گزینه‌ها و مشخص کردن وزن شاخص‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری (شکل ۱۷) به ترتیب زیر به دست آمد.

Type:+ OR - ?	+	+	-	-	-
	Battery Capacity	Mileage	Size	Weight	Price
Nissan	24	160	2586	1520	32800
Mitsubishi	16	160	2293	1172	30000
BYD	60	350	2669	2020	35000
GM	16	60	1647	1715	41000
Tesla	56	394	2306	1236	128500
Mahindra	14	200	1937	825	26388
Wj	**0.314679511**	**0.2438**	**0.022**	**0.066**	**0.3538**

شکل ۱۷- ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی خودروها.
Figure 17 - Decision matrix for car ranking.

در ادامه هم رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب جدول ۹ به دست آمد.

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶

جدول ۹- نتایج رتبه‌بندی خودروها به روش TOPSIS.

Table 9- Results of car ranking by TOPSIS method.

رتبه‌ها به ترتیب	cli	
A5(Tesla)	cl5=	0.939827486
A3(BYD)	cl3=	0.473918823
A1(Nissan Leaf)	cl1=	0.170427866
A6(Mahindra)	cl6=	0.155902971
A2(Mitsubishi)	cl2=	0.124152817
A4(GM)	cl4=	0.117993695

با مقایسه جدول ۹ و شکل ۱۱ درمی‌یابیم که نتایج رتبه‌بندی این دو روش باهم تفاوت‌هایی دارد که در جدول ۱۰ نمایش داده‌شده است.

جدول ۱۰- مقایسه رتبه‌بندی خودروها با دو روش TOPSIS و PROMETHEE.

Table 10- Comparison of car rankings with two methods TOPSIS and PROMETHEE.

TOPSIS		PROMETHEE	
رتبه‌ها به ترتیب	A5(Tesla)	رتبه‌ها به ترتیب	A3(BYD)
	A3(BYD)		A6(Mahindra)
	A1(Nissan Leaf)		A5(Tesla)
	A6(Mahindra)		A2(Mitsubishi)
	A2(Mitsubishi)		A1(Nissan Leaf)
	A4(GM)		A4(GM)

اساس روش TOPSIS بر مبنای ریسك‌گریزی بنیان شده است، لذا تصمیم‌گیری به کمك این روش با کم‌ترین خطر ممکن (ازنظر ریسك، بازگشت سرمایه و...) همراه بوده ولی سود حاصله نیز بالطبع حداکثر سود ممکن نخواهد بود. در روش PROMETHEE بر اساس تعادل بین جریان منفی و مثبت، رتبه‌بندی انجام می‌شود و لذا تصمیم با مقداری ریسك همراه است ولی در صورت موفقیت به سود بیشتری در مقایسه با روش TOPSIS می‌انجامد.

۷ـ۲ـ۳ـ روش بُردا و کُپ‌لند برای تعیین اولویت‌های نهایی

برای تعیین اولویت‌های نهایی به‌طوری‌که بتوان برای هر یك از خودروهای تحت رتبه‌بندی، یك رتبه واحد متصور شد بایستی در ابتدا جدول قاعده اکثریت را (جدول ۱۱) تشکیل دهیم.

جدول ۱۱- قاعده اکثریت.

Table 11- Majority rule.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	ΣC
A_1	-	M	X	M	X	X	2
A_2	X	-	X	M	X	X	1
A_3	M	M	-	M	M	X	4
A_4	X	X	X	-	X	X	0
A_5	M	M	X	M	-	M	4
A_6	M	X	X	M	X	-	2
ΣR	3	3	0	5	1	1	

۳ــ۲ــ۸ــ روش بُردا

در روش بُردا با توجه به تعداد بردها (ΣC) رتبه‌بندی صورت می‌گیرد و رتبه‌بندی نهایی با این روش عبارت است از:

$$A_3=A_5>A_1=A_6>A_2>A_4$$

۹ــ۲ــ۳ــ روش کُپ‌لند

در این روش امتیاز هرگزینه برای رتبه‌بندی نهایی، با کم کردن تعداد باخت‌ها (ΣR) از تعداد بردها (ΣC) محاسبه می‌شود.

A1 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 2-3 = -1
A2 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 1-3 = -2
A3 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 4-0 = 4
A4 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 0-5 = -5
A5 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 4-1 = 3
A6 امتیاز گزینه = ΣC- ΣR= 2-1 = 1

رتبه‌بندی نهایی با روش کُپ‌لند به ترتیب زیر است:

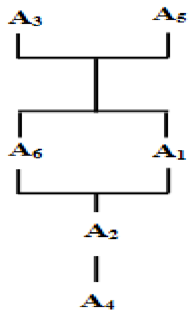
A3>A5>A6>A1>A2>A4

مرحله ادغام: از طریق تشکیل یك مجموعه‌ی رتبه‌بندی جزئی[1] به اجماع می‌رسیم که در شکل ۱۸ دیده می‌شود.

O1= A3=A5>A1=A6>A2>A4   K= (O1,O2), روش بُردا

O2= A3>A5>A6>A1>A2>A4   روش کُپ‌لند

[1] Partially Ordered Set (Poset)



شکل ۱۸- رتبه‌بندی نهایی خودروها با روش ادغام (دو روش بُردا و کُپ‌لند).

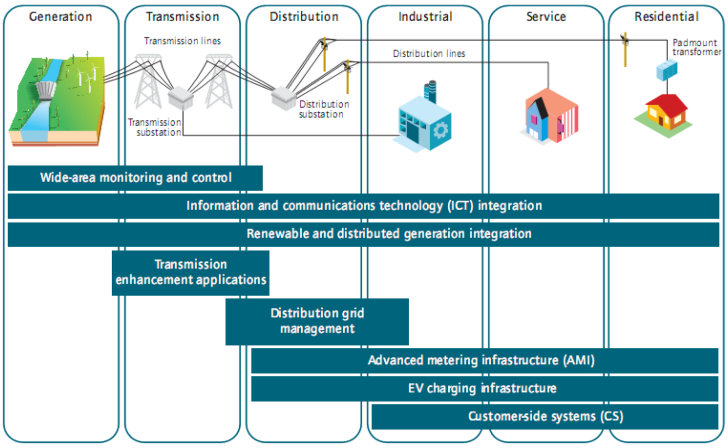
Figure 18- Final ranking of vehicles by the integration method (two methods of Borda and Copland).

۳ـ۲ـ۱۰ـ نقشه راه فناوری چند صنعتی

در این قسمت قصد داریم تأثیر تحقق نقشه راه فناوری شبکه‌های هوشمند بر نقشه راه فناوری خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز الکتریکی (رتبه‌بندی آن در بخش قبل صورت پذیرفت) را تحت عنوان نقشه راه فناوری چند صنعتی به‌صورت اجمالی بررسی نماییم. در نقشه راه فناوری هوشمند با افق سال ۲۰۵۰ و باهدف استفاده از فناوری‌های دیجیتال و عمدتاً پیشرفته برای پایش مداوم تولید، انتقال و توزیع برق برای پاسخ آنی به نیازهای متغیر کاربران نهایی در جهت جلوگیری از تلفات خطوط و قطعی برق تدوین‌شده است. نکته‌ی مهم و کلیدی در این نقشه راه این است که هوشمندسازی سیستم برق یك فرآیند بهبود تدریجی است نه یك رویداد زمانی. استقرار این نقشه راه مستلزم تدوین برنامه مشخص فنی همراه بازمان مورد انتظار برای در سه حوزه‌ی تولید، انتقال و توزیع می‌باشد که همراه با جزئیات هر مرحله در شکل ۱۹ آمده است. این حوزه‌ها عبارت‌اند از: کنترل و پایش مناطق وسیع[1]، یکپارچگی فاوا[2]، یکپارچگی تولید توزیعی تجدیدپذیر[3]، بهبود عملیات انتقال[4]، مدیریت شبکه‌ی توزیع[5]، زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته[6]، زیرساخت شارژ خودروهای الکتریکی[7] و سیستم‌های طرف مشتری[8]. یکی از مهم‌ترین حوزه‌های فناوری مطرح در این نقشه راه زیرساخت شارژ خودروهای الکتریکی است. در نقشه راه خودروهای الکتریکی هم از زیرساخت شارژ خودروهای الکتریکی به‌عنوان یکی از اجزای بسیار مهم توسعه نقشه راه مذکور اشاره‌شده است.

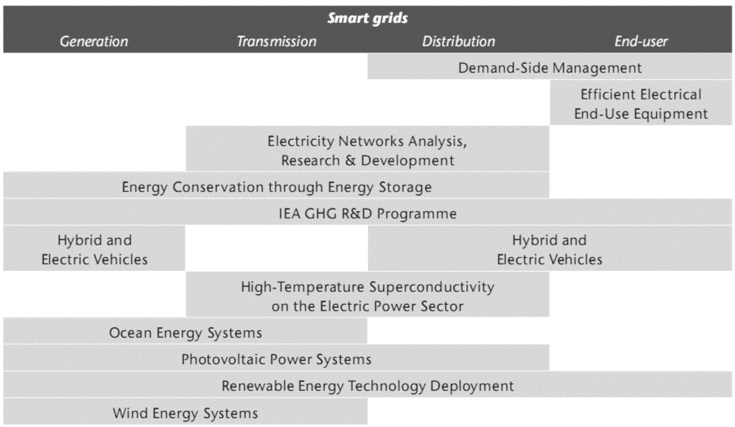
همان‌طور که توضیح داده شد، دو نقشه راه فناوری مزبور در زیرساخت لازم برای شارژ خودروها اشتراك دارند و نقشه راه خودروهای الکتریکی به‌شدت به یکی از حوزه‌های کلیدی نقشه راه فناوری شبکه‌های هوشمند نیازمند است. این همان مفهوم نقشه راه فناوری چند صنعتی است. برای این‌گونه نقشه‌های راه باید تعاملات بین دو (یا چند) صنعت مرتبط دیده شود و هم‌زمان با تدوین نقشه راه برای یکی بایستی توسعه صنعت دیگر هم در نقشه راه منظور گردد. در این تحقیق نیز ترتیب به این شکل است که هنگام تدوین نقشه راه فناوری برای خودروهای الکتریکی و الکتریکی دوگانه‌سوز، می‌بایست زیرساخت‌های موردنیاز برای توسعه نقشه راه بررسی گردد و در صورت وابسته بودن به صنعتی کاملاً مجزا و خارج از کنترل ما، هم‌زمان با انجام مطالعات آینده‌پژوهی برای نقشه راه خودمان، این مطالعات در صنایع زیرساخت موردنیاز بیان نماییم. در شکل ۲۰ این تعامل نشان داده‌شده است.

[1] Wide-area monitoring & control
[2] Information & communications technology (ICT) integration
[3] Renewable & distributed generation integration
[4] Transmission enhancement applications
[5] Distribution grid management
[6] Advanced metering infrastructure (AMI)
[7] EV charging infrastructure
[8] Customer-side Systems (CS)



شکل ۱۹- حوزه‌های فناوریکی و توصیف هر یك از آن‌ها.

Figure 19- Technological areas and description of each of them.



شکل ۲۰- ارتباط نقشه راه شبکه هوشمند با دیگر حوزه‌ها.

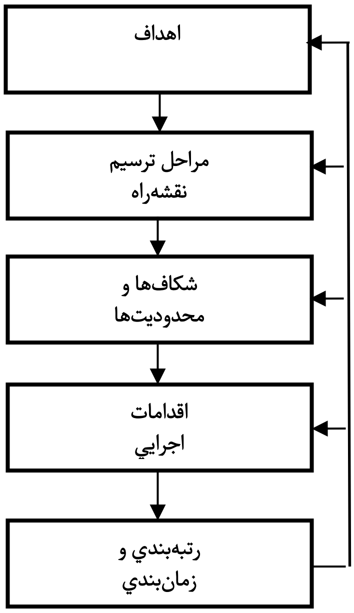
Figure 20 - Relationship of smart grid roadmap with other domains.

در قسمت تولید، توزیع و مصرف‌کننده نهایی، نقشه راه خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز انرژی به چشم می‌خورد. در نقشه راه فناوری چند صنعتی باید این ارتباط دقیقاً و از طریق نقشه راه توصیف گردد. در این تحقیق به دلیل محوریت نداشتن این موضوع و نیز فوق‌العاده پیچیده بودن این موضوع از بررسی فنی این قضیه خودداری می‌شود. البته محققین امیدوارند در فرصت‌های آینده و مقاطع بعدی بتوانند این موضوع را به‌صورت دقیق و موشکافانه بررسی نموده و این مفهوم را وارد ادبیات بین‌المللی، نقشه راه نمایند.

۴ـ بحث و نتیجه‌گیری

هر نقشه راه فناوری موفق باید دارای پنج جزء باشد که به‌درستی تبیین شده باشند و ارتباطات بین آن‌ها برقرارشده باشد. این پنج جزء در شکل ۲۱ نشان داده‌شده است.

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶



شکل ۲۱- عناصر کلیدی در موفقیت نقشه‌راه فناوری[1].

Figure 21- Key elements in the success of technology roadmap.

عوامل بالا با لایه‌های موجود در نقشه راه فناوری متناظر هستند. در این تحقیق دو عنصر پایینی (اقدامات اجرایی و رتبه‌بندی و زمان‌بندی) موردبررسی قرارگرفت. یك نقشه راه فناوری موفق نخواهد شد مگر این‌که لایه‌های پایینی که به لایه‌های توانمندساز موسوم‌اند، به‌درستی تبیین شده باشند.

در این تحقیق، دولایه‌ی پایینی در دو نقشه راه فناوری موردبررسی قرارگرفت. شیوه‌ی کار به‌این‌ترتیب است که ابتدا نقشه راه فناوری خودروهای الکتریکی و دوگانه‌سوز موردبررسی قرارگرفت و زیرساخت‌های موردنیاز در لایه‌ی منابع و اکتساب فناوری استخراج شد. باتری به‌عنوان مهم‌ترین و کلیدی‌ترین چالش برای تحقق اهداف این نقشه راه فناوری مشخص شد. در ادامه به بررسی باتری‌های مختلف برای رتبه‌بندی پرداخته شد و خانواده باتری‌های یون لیتیم به‌عنوان باتری‌های برتر و مناسب برای رتبه‌بندی انتخاب شد. پنج باتری با شش مشخصه‌ی فنی مورد رتبه‌بندی قرار گرفت. برای تعیین اوزان مشخصه‌های فنی از الگوریتم شانون[2] و برای رتبه‌بندی از دو روش TOPSIS و PROMETHEE استفاده شد. نتایج رتبه‌بندی باتری‌ها در دو روش یکسان به دست آمد. روش TOPSIS روشی بسیار ریسك‌گریز است به‌این‌ترتیب که به دنبال راه‌حلی است که دارای بیشترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل منفی و کمترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل مثبت باشد. روش PROMETHEE هم روشی است که به دنبال راه‌حلی متعادل بین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی است. به‌عبارتی‌دیگر، روش PROMETHEE به دنبال بهینه‌ترین راه‌حل است با این تفاوت که می‌توان آستانه بی‌تفاوتی و آستانه ترجیح را نیز تعریف نمود. در ادامه هم با این دو روش یادشده، شش خودروی مطرح و موجود بازار را با در نظر گرفتن پنج مشخصه‌ی فنی باهم مقایسه نمودیم (هدف اصلی تحقیق).

نتایج رتبه‌بندی پنج باتری مذکور، با دو روش یکسان گردید. با توجه توابع بی‌تفاوتی و ترجیح تعریف‌شده، نتایج رتبه‌بندی‌ها یکسان و به ترتیب جدول ۱۲ تعیین شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با در نظرگرفتن معیارهای انرژی، توان، عمرنامی و واقعی، ایمنی و قیمت نتایج زیر قابل توصیف است (سؤال اصلی تحقیق).

---

[1] IEA, Technology Roadmaps: A guide to development & implementation (2010)
[2] Shanon algorithm

جدول ۱۲- نتایج رتبه‌بندی باتری‌ها.

Table 12- Battery rating results.

۱	A_2(NCA)
۲	A_3(NMC)
۳	A_1(li Co O_2)
۴	A_4(Li mno$_2$ O_2)
۵	A_5(Li Fe Po$_2$)

اکنون تمامی خودروسازان، باتری‌سازان و صنعت‌گران مرتبط با حوزه‌ی باتری می‌توانند به‌آسانی نسبت به توسعه‌ی باتری‌ها با توجه انتظارات و معیارهای موردنظر خود اقدام کنند. به‌علاوه این رتبه‌بندی می‌تواند به‌عنوان راهنما در دیگر کارهای مشابه برای استخراج اولویت‌های موردنظر خود اقدام نمایند. در مورد رتبه‌بندی خودروها هم روش کار به همین ترتیب انجام شد. ابتدا پنج مشخصه‌ی فنی خودروها با الگوریتم شانون مورد تحلیل قرار گرفتند و وزن هر مشخصه استخراج گردید (سؤال اصلی تحقیق). در ادامه هم با دو روش TOPSIS و PROMETHEE خودروها رتبه‌بندی شدند. نتایج رتبه‌بندی در جدول ۱۳ آورده شده است.

جدول ۱۳- نتایج رتبه‌بندی خودروها.

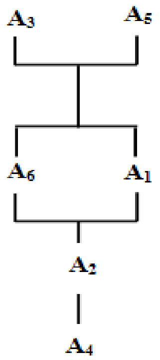
Table 13- Car ranking results.

ترتیب رتبه‌ها	PROMETHEE	TOPSIS
۱	A3(BYD)	A5(Tesla)
۲	A6(Mahindra)	A3(BYD)
۳	A5(Tesla)	A1(Nissan Leaf)
۴	A2(Mitsubishi)	A6(Mahindra)
۵	A1(Nissan Leaf)	A2(Mitsubishi)
۶	A4(GM)	A4(GM)

طبق جدول ۱۳ که نشان‌دهنده رتبه‌بندی خودروها می‌باشد. تفاوت در نتایج این دو روش به این شکل قابل توجیه است که روش TOPSIS به این دیدگاه که راه‌حل باید ریسک‌گریزانه باشد، اقدام به تعیین اولویت‌ها می‌نماید و نتایج آن محتاطانه و با کمترین ریسک ممکن همراه است. ولی روش PROMETHEE روشی بهینه برای غنی‌سازی رتبه‌بندی‌هاست و تصمیم بر مبنای این روش با کمی ریسک همراه است و در عوض منافع حاصل از این روش در صورت موفقیت، از نتایج روش TOPSIS بیشتر خواهد بود. این رتبه‌بندی (خودروها) برای تعیین خودروهای برتر برای الگوبرداری[1]، جاسوسی صنعتی[2] و مهندسی معکوس[3] و تسهیل انتخاب روش مناسب بسیار مفید خواهد بود.

[1] Benchmarking
[2] Industrial Spying
[3] Reverse Engineering

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰–۳۴۶



شکل ۲۲- رتبه‌بندی نهایی خودروها با روش ادغام (دو روش بُردا و کُپ‌لند).

Figure 22- Final ranking of vehicles by the integration method (two methods of Borda and Copland).

در شکل ۲۲ رتبه‌بندی نهایی خودروها با ادغام رتبه‌بندی روش‌های بُردا و کُپ‌لند نمایش داده شده است که می‌تواند به‌عنوان رتبه‌بندی نهایی مورداستفاده قرار گیرد (هدف اصلی تحقیق).

در ادامه هم با بررسی نقشه‌راه فناوری شبکه‌های هوشمند و سه حوزه‌ی اصلی موردبحث در این نقشه راه فناوری (تولید، انتقال و توزیع) و ارتباط این سه حوزه با نقشه راه فناوری خودروهای الکتریکی تحت عنوان «نقشه راه فناوری چند صنعتی» تبیین گردید و اقدامات لازم برای تهیه چنین نقشه‌راهی پیشنهاد و مزایای ترسیم آن تشریح گردید (به دلیل پیچیدگی و مرتبط نبودن آن با موضوع اصلی تحقیق از پرداختن به جزئیات بیشتر در این مورد خودداری می‌کنیم).

منابع

Albright, R. E., & Kappel, T. A. (2003). Road mapping in the corporation. *Research-technology management*, *46*(2), 31-40.

Albright, R. & Schaller, R. (1998). Technology Roadmap Workshop. *moderated by the Office of Naval Research*, Washington, DC.

An, Y., Lee, S., & Park, Y. (2008). Development of an integrated product-service roadmap with QFD. *International journal of service industry management*, *19*(5), 621–638.

Bower, J. L., & Christensen, C. M. (1995). Disruptive Technologies: Catching the Wave” Harvard Business Review.

Brans, J. P. (2002). Ethics and decision. *European journal of operational research*, *136*(2), 340-352.

Brown, R., & O'Hare, S. (2001). The use of technology road mapping as an enabler of knowledge management. *Institution of electrical engineers, 7*, 1–6.

Brown, R., & Phaal, R. (2001). The use of technology roadmaps as a tool to manage technology developments and maximize the value of research activity. *IMech email technology conference*, Brighton, (P. 25-35).

Farrukh, C., Phaal, R., & Probert, D. R. (2001). Industrial practice in technology planning-implications for a useful tool catalogue for technology management. In *Portland international conference on management of engineering and technology,* (p. 200-215).

Fartash, K., & Mousavi Davoodi, S. (2012). Technology roadmap for integrating products and services. *Fourth national conference on engineering and innovation management of Iran*, Tehran, (p. 110-125). (In Persian)

Fouskas, K. G., Giaglis, G. M., Kourouthanassis, P. E., Karnouskos, S., Pitsillides, A., & Stylianou, M. (2005). A roadmap for research in mobile business. *International journal of mobile communications*, *3*(4), 350-373.

Geum, Y., Kang, D., Lee, H., & Park, Y. (2010). Technology interfaces in product-service integration: concept and typology. In *PICMET 2010 technology management for global economic growth*, (p. 1-7).

Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011). Technology road mapping for technology-based product–service integration: a case study. *Journal of engineering and technology management*, *28*(3), 128-146.

Ghaffarzadegan, M., & Peymankhah, S. (2007). Comparative comparison of common approaches to roadmap drawing in technology strategies. *Fifth international conference on management*, Tehran, (p. 50-68).

Ghaffarzadegan, M., & Sedghi, N. (2006). Determining research and development priorities using technology roadmap. *Fourth international conference on management*, Tehran, (p. 25-35).

Groenveld, P. (1997). Road mapping integrates business and technology. *Research-technology management*, *40*(5), 48-55.

Guibert, A. (2009). Batteries and supercapacitor cells for the fully electric vehicle. In *smart systems integration conference,* (p. 425-436).

Hosseini Nasab, S., Javadi, H., & Arbabshirani, B. (2010). Analytical review of some applications of technology roadmap. *fourth national conference on technology management*, Tehran, (p. 25-39).

Houston, J., & Turner, J. (2001). Developing collaborative solutions to the aging aircraft avionics problem through technology road mapping. *Lockheed-Martin, working paper JS01*.

Kajikawa, Y. (2008). Structure of knowledge in the science and technology roadmaps. *Technological forecasting & social change*, *75*, 1–11.
Lee, S., & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to road mapping purposes: overall process and detailed modules. *Technological forecasting and social change*, *72*(5), 567-583.
Marie L. Garcia, L., & Bray, O. H. (1997). *Fundamentals of technology road mapping*. Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States).
McCarthy, J. J., Haley, D. J., & Dixon, B. W. (2001). Science and technology road mapping to support project planning. In *Portland international conference on management of engineering and technology*, (p. 637-649).
McCarthy, R. C. (2003). Linking technological change to business needs. *Research-technology management*, *46*(2), 47-52.
Momeni, M., Sharifi Salim, A. (2011). *Modeling and multi-criteria decision-making software.* Authors Publications.
Phaal, R. (2005). *Technology and other (mostly sector-level).* Published roadmaps, University of Cambridge.
Probert, D., & Radnor, M. (2003). Frontier experiences from industry-academia consortia. *Research-technology management*, *46*(2), 27-30.
Ulrich, K. T. (2003). *Product design and development*. Tata McGraw-Hill Education.
Vojak, B. A., & Chambers, F. A. (2004). Road mapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystems: the SAILS methodology. *Technological forecasting and social change*, *71*(1), 121-139.
Yasunaga, Y., Watanabe, M., & Korenaga, M. (2009). Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence. *Technological forecasting and social change*, *76*(1), 61-79.

مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی، دوره ۱، شماره ۴، صفحه: ۳۲۰-۳۴۶